

## **REHABILITACIÓN ENERGÉTICA EN FUNCIÓN DEL GRADO DE MEJORAMIENTO. EVALUACIÓN DE LA SIMULACIÓN FRENTE A LA REALIDAD DE LAS VIVIENDAS EN CHILE**

**<sup>1</sup>Soto Muñoz, J.; <sup>2</sup>Pérez Fargallo, A.; <sup>3</sup>García, R.**

**<sup>1</sup>Universidad del Bío-Bío, Departamento de Ciencias de la Construcción  
Collao 1202. Concepción. Chile.**

**<sup>2</sup>Universidad de Sevilla, Departamento de Construcciones Arquitectónicas II  
Avda. Reina Mercedes, 4 A, 41012-Sevilla. España.**

**<sup>3</sup>Universidad del Bío-Bío, Departamento de Diseño y Teoría de la Arquitectura  
Collao 1202. Concepción. Chile**

**e-mail: jsotom@ubiobio.cl, alexisfargallo@us.es, rgarcia@ubiobio.cl**

### **RESUMEN**

Las viviendas constituyen uno de los principales consumidores energéticos y generan un relevante impacto ambiental en Chile y a nivel global. El mejoramiento de construcciones existentes o de nuevos proyectos, es un procedimiento que se apoya en simulaciones multidimensionales y de evaluación energética de las edificaciones. Sin embargo se carece de estrategias para identificar las alternativas más apropiadas. Normalmente se compara una situación original con una mejorada según estimaciones generales, pero sin analizar las alternativas más efectivas, ejecución constructiva, proyección económica o aceptabilidad de los ocupantes.

Basado en el estudio de una docena de viviendas representativas del centro sur de Chile, en que se compararon registros constructivos, modelos computacionales, monitorizaciones ambientales y patrones de ocupación, este trabajo plantea una metodología de análisis efectivo para el mejoramiento ambiental residencial. Considerando una selección de condiciones relevantes existentes o proyectadas, se elaboraron simulaciones energéticas según antecedentes consolidados, y se determinaron alternativas según un catálogo de soluciones constructivas adecuadas a cada tipología estudiada. Así, los resultados de desempeño se analizaron bajo una metodología conocida como de análisis de costos de ciclo de vida o Life-Cycle Cost Analysis (LCCA), para el estudio financiero de las alternativas simuladas, y con la finalidad de determinar los paquetes de acciones más efectivas.

De esta manera, se conformaron propuestas constructivas, las que se aplicaron, a través de simulaciones informáticas y ejecutadas en la realidad. El propósito es confrontar valores de ahorro energéticos y costos asociados, producidos por mejoramientos, obtenidos de programas de análisis de eficiencia energética respecto de resultados de monitorización.

**Palabras clave:** viviendas, mejoramientos, eficiencia, energía, factibilidad técnico-económica.

## 1. Introducción

En Chile, los mejoramientos de viviendas tienen tradicionalmente una lógica basada en elevar el estado de conservación del inmueble durante su ciclo de vida o aumentar la superficie o volumen de la edificación. Los propósitos que consideran la eficiencia energética y la disminución del impacto ambiental de los hogares del país son recientes, y nacen con el aumento considerable del costo de la energía y el incremento de la contaminación en las ciudades. En el país se emiten aproximadamente 142.000 permisos de edificación al año, de los cuales la mayor parte, el 70,5% corresponde a viviendas entre 35,1 y 70 m<sup>2</sup> y 16% a viviendas entre 70,1 y 100 m<sup>2</sup> [1]. Este estudio se enfoca en viviendas urbanas, ubicadas en la zona centro-sur de Chile, en particular casos obtenidos en la Región del Bío-Bío. En esta zona, dichas construcciones se caracterizan por su tipología y tamaño, se trata de edificaciones aisladas de uno o dos pisos, entre 60 a 140 m<sup>2</sup> con una materialidad predominante entre 77 a 87%, correspondiente a albañilería reforzada en los primeros pisos y tabique de madera en los segundos pisos. Además, existe un aumento de la edificación residencial; según el Censo 2002[2], dicho incremento en viviendas particulares fue de un 28% y se estima está actualmente por sobre esa cifra, dada la situación de reposición originada en el terremoto en la zona del 27 de Febrero en 2010.

El mejoramiento de las viviendas hoy en día, es un factor de la rehabilitación energética, enfocado desde la perspectiva que el problema de una baja aislación de la envolvente o estrategias confort ambiental poco eficientes, por lo que se requiere incorporar modificaciones a las construcciones originales. En este sentido, del consumo total de energía en un hogar, en promedio el 56% se destina solamente a calefacción [3]. Otras investigaciones [4] indican que para las familias chilenas es relevante disponer de una vivienda que pueda aislar correctamente del frío y el calor. En 2007 el gobierno de Chile modificó la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) para incluir estándar un estándar para regular las condiciones térmicas en las viviendas. Sin embargo, no establece parámetros de referencia para la demanda de energía en cada edificación, sino su exigencia térmica se concentra en pérdidas por transmitancia térmica (U). Esta Reglamentación Térmica [5] ha comenzado por establecer requisitos mínimos de U (W/m<sup>2</sup>°C), para la zona 4 Región del BioBio, en pisos (0,6), muros(1,7), techumbre(0,38), así como ventanas según el porcentaje máximo de superficie vidriada respecto a paramentos verticales de la envolvente (3,6-2,4 y menor). Sin embargo existe variación de comportamiento, según zonas y tipo de vivienda. Datos de la Corporación de Desarrollo Tecnológico [3], indican que consumo energético cambia según la disposición de la vivienda. Además, el gobierno, ha establecido subsidios para hogares identificados como clase media y viviendas sociales para distintos programas de mejoramiento. Estas edificaciones residenciales unifamiliares, pueden optar a los beneficios de Decreto Supremo (D.S.) N° 255 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo [6], más específicamente en el Título II sobre proyectos de mejoramiento para viviendas. Es decir, viviendas cuyo valor de tasación fiscal no supere los USD\$ 26.650 y con una caracterización social encuestada adecuada al propósito del programa público. Actualmente, se encuentra en tramitación el Decreto Supremo N°25, que deroga el mencionado D.S.N°255 y que incrementará los aportes estatales a proyectos de mejoramiento mediante innovación tecnológica en eficiencia energética y sustentabilidad [7]. Según estudios de la Cámara Chilena de la Construcción [8], la relación entre subsidios pagados/subsidios otorgados alcanza el 90%, como promedio del total de beneficios que otorga el gobierno a las familias de menores ingresos. Pero, respecto a este DS255 existe una menor tasa de efectividad, principalmente dado por la culminación

del proceso constructivo por parte de las empresas contratistas y unidades fiscalizadoras que no tiene experiencia en este tipo de procesos constructivos bajo la modalidad de viviendas habitadas.

Es así que, la discusión de la rehabilitación energética se centra en el desempeño térmico, que tendrá la vivienda durante su ciclo de vida y los costos asociados a la misma. No solo se trata de costos estimados sino también a las condiciones que estas entregan a sus habitantes. Según el estudio “Determinación de la Línea Base del Confort Higrótérmico en el Sector Residencial” [9], las variables que se deberían considerar dentro una evaluación de percepción térmica de los habitantes de la vivienda en el interior de las construcciones, considera la humedad, temperatura y velocidad del aire interior de la vivienda. Lo anterior, puede guardar relación con costos colaterales producidos del confort ambiental interior, vinculados con el descanso reponedor y la salud de los integrantes de la familia. Una medición realizada por este equipo investigador en 50 viviendas de la zona centro sur del país, describió nivel de confort en que viven estos habitantes al interior de sus viviendas. Se tomaron cuatro puntos centrales, entre estos, la temperatura efectiva, la cual muestra que existe una correlación entre la temperatura efectiva y el confort térmico, además apunta que en invierno las temperaturas promedio de la mayoría de las viviendas era de 15° a 17°C. Un segundo punto distinguir es el combustible utilizado, después de la leña en la zona centro-sur de Chile, el combustible preferido en la mayoría de las familias es el gas licuado y se asegura que desde mayo del 2012 el gas natural está presentando un incremento del 2,48%. Mientras que la parafina y el gas licuado anotan un aumento de 5,85% y 3,6% respectivamente [10]. A partir de lo expuesto, el mejoramiento de la edificación residencial, transforma la edificación tradicional en construcciones más amigables con el medio ambiente, ya que representan una oportunidad de disminuir el impacto ambiental de los sistemas de acondicionamiento, con menos emisiones, menor huella de carbono, e inferior consumo energético. Lo interesante, es abordar la problemática desde la efectividad de las acciones posibles, estudiando los efectos de los sistemas constructivos considerados en el mejoramiento. Ya sea, en su factibilidad técnica, ejecución y/o desempeño, así como, estudiar el efecto en la percepción del grupo familiar y su comunidad. Además, en el proceso se debe evaluar la viabilidad para cada grupo socioeconómico y las oportunidades que entregan los gobiernos a través de subsidios en tal sentido.

## **2. Selección del caso de estudio**

El estudio considera el análisis de viviendas de la zona centro-sur de Chile, en particular de provincia de Concepción. Además, se centra en tipologías frecuentes de construcción para grupos socioeconómicos medios que corresponden al mayor porcentaje de viviendas del país. Para la ejecución de la investigación se seleccionaron 12 casos, bajo los criterios planteados por Johansson [11], es decir, cada vivienda se caracterizó como una unidad de funcionamiento complejo, considerando su contexto en la realidad coetánea, así, se escogió uno de los casos para su estudio en profundidad, la vivienda se ubica en la localidad costera de Dichato, perteneciente a la zona 4 de la Reglamentación Térmica[5], revisando su caracterización como edificación residencial con tipología frecuente de construcción, hábitos y percepción del grupo familiar, consumos de energías y monitorización previa y posterior al mejoramiento aplicado en condición de invierno y verano.

En una primera etapa se caracterizaron las 12 viviendas estudiadas, las cuales fueron comparadas respecto a referencias nacionales. Así, se pudo comprobar que en Chile, cerca de la mitad de la vivienda construidas se destinan a hogares de bajos-medios ingresos financiadas por el gobierno, mientras que para los niveles de

ingresos restantes medio-alto se financia de forma privada. La industria de la construcción provee una oferta diversa de edificación residencial, pública y privada, con una evolución en diseños e incorporación de sistemas constructivos. En los últimos años, el mercado inmobiliario privado ha recibido alertas respecto al incremento de coste injustificado o sobrevalorado en las viviendas nuevas, lo que hace que el acceso mediante financiamiento bancario se haga más exigente. Respecto a las viviendas, la tasa de ocupación promedio es de poco menos de cuatro habitantes por vivienda. Las viviendas para todos los niveles socioeconómicos se encuentran bastante equipadas, con un consumo medio de electricidad de 2100 kWh/año, y gastos de alrededor de USD\$ 600 /año. El consumo de energía total de viviendas para la calefacción basado en la electricidad, el gas, el petróleo y / o leña es de entre 5.000 y 20.000 kWh/año, el equivalente a 30 y 130 kWh/año/m<sup>2</sup>. Se pudo establecer, mediante monitorización en los casos estudiados que las temperaturas interiores son más bajas que los estándares tradicionales, con un promedio entre 16 y 18 °C, apareciendo frecuentemente en las viviendas de interés social problemas de humedad y contaminación del aire interior.

Si bien la zona centro-sur de Chile, se caracteriza por planicies costeras, cordillera de la costa y una depresión intermedia previo a la Cordillera de los Andes, la mayoría de la población se encuentra en el borde costero hacia el Océano Pacífico. El caso de estudio se seleccionó de entre los 12 casos por su representatividad respecto a su ubicación, contexto social y tipología constructiva, está en la localidad de Dichato, comuna de Tomé, Región del Bio Bio. Se consideró además, que esta zona estuvo afectada fuertemente por el terremoto del 27 de Febrero de 2010 y el posterior tsunami. Debido a lo anterior, se desarrollaron programas estatales de reconstrucción para reposición de viviendas afectadas durante los dos años siguientes, representando la región el 25% de la inversión de este tipo llevada a cabo por los programas público. Así también, la búsqueda abarcó las viviendas entregadas por el estado a través de los subsidios que dispone el Ministerio de Vivienda y Urbanismo para grupos socioeconómicos acotado al C2 y C3 los cuales pertenecen a rangos con un ingreso mensual entre USD\$480 y USD\$ 1.100. Las características arquitectónicas para el caso de estudio dan cuenta de una vivienda unifamiliar, categoría casa no departamento, que en el país representa el 83% de los tipos de vivienda y 89% en la región en estudio [2].

### 3. Desarrollo

Durante la caracterización de las 12 viviendas iniciales, se observó un fenómeno de autoconstrucción en casi todas las edificaciones, que daba cuenta de modificaciones del tamaño de las viviendas y alteraciones de la tipología constructiva original. Esto, muestra que los indicadores asociados a los permisos de edificación, no representan la realidad del sector. Esto, ya que no todos los permisos solicitados se transforman en obra ejecutada, ni todas las viviendas que sufren una modificación formalizan este requerimiento legal ante la municipalidad correspondiente. Lo anterior, afecta y distorsiona los datos con los que se elaboran las políticas públicas en el país vinculadas al sector.

Para el caso de estudio, la vivienda ubicada en la localidad de Dichato, fue necesario realizar una serie de actividades cuantitativa y cualitativa de recolección de datos durante los años 2012, 2013 y 2014. La vivienda construida en 2011, se desarrolla en 2 niveles, con una superficie útil de 51,24 m<sup>2</sup>. El primer piso de la construcción se ha ejecutado con albañilería confinada, con revestimiento de mortero interior y pasta elastomérica exterior, losa de hormigón armado, segundo piso es de estructura entramada de madera, con revestimiento interior en placa de yeso cartón y exterior en vinyl syding. Su programa de usos contempla 2 dormitorios,

estar-comedor, cocina y un baño. El valor de tasación comercial es de USD\$18.500, sin embargo dado que tiene limitaciones de venta por tratarse de una vivienda con subsidio estatal, la tasación fiscal es de USD\$2.500. El grupo familiar estaba integrado por 3 personas, con una referencia nacional de 3,6 habitantes por vivienda [2]. Se registró un ingreso familiar mensual variable entre USD\$240 a USD\$750. La vivienda cuenta con suministro de servicios básicos, está equipada con cocina, lavadora, TV, microondas, calefont, refrigerador y conexión de cable/internet. Lo anterior lo ubica en grupo C2-C3 de la clasificación según estrato socioeconómico [12].

Luego de la caracterización, se estudió la vivienda mediante monitorizaciones de invierno y verano para identificar su comportamiento energético (Fig.1). Se identificaron flujos de calor en la envolvente mediante ensayos de termoflujometría y la instalación de los sensores de temperatura superficial, humedad relativa y temperatura ambiente. También se logró medir concentraciones de CO<sub>2</sub> y cantidad de iluminación natural. Con el uso de cámaras termográficas se identificaron puentes térmicos, su ubicación y dimensión. Por otra parte, y mediante el ensayo de hermeticidad al aire de edificios, se determinaron los niveles de infiltración en la edificación. Y, a través de encuestas e instrumentos validados se registraron hábitos de post-ocupación de los habitantes, características constructivas y consumos reales de energía en la edificación.

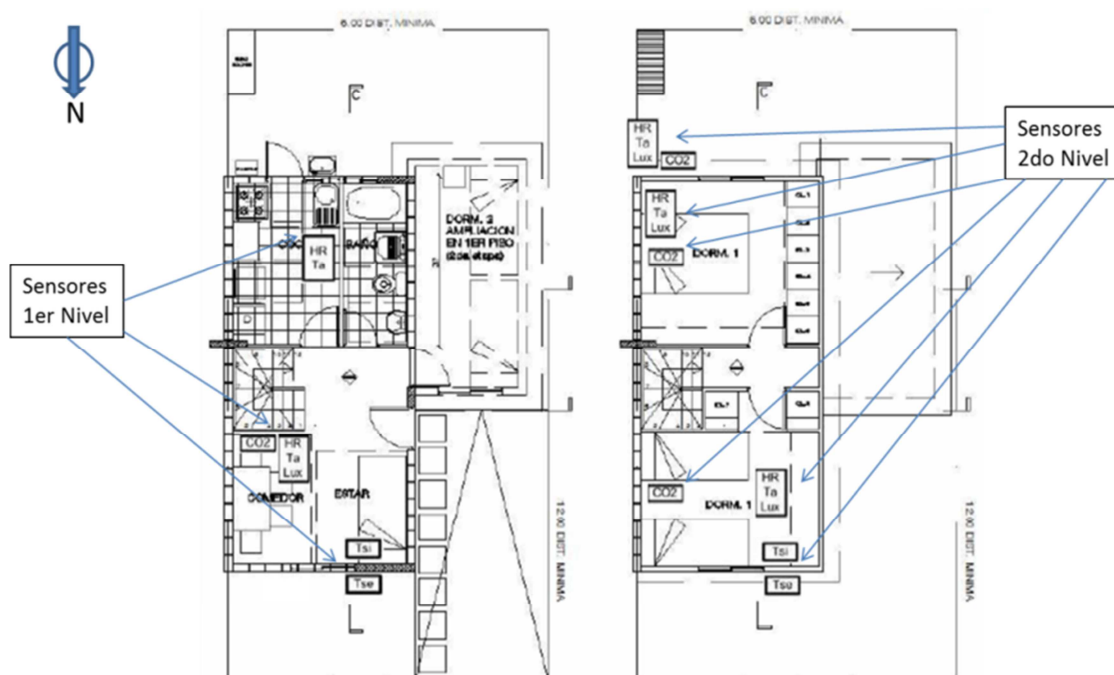


Fig.1: Planimetría y ubicación de sensores para monitorización en la vivienda.

Fuente: autor

De esta forma, y revisando la oferta de alternativas de mejoramiento disponible en el mercado de la zona, se elaboraron simulaciones con las soluciones posibles contenidas en Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico [13]. Con datos de temperaturas ambientales, presión, velocidad y dirección de viento de la localidad se realizaron simulaciones con software de diseño sustentable de edificios ECOTEC para conocer el desempeño térmico y comportamiento del sistema bajo los distintos supuestos. Con ello, se agruparon las soluciones en paquetes con viabilidad técnica de aplicación en la vivienda. El valor económico de estos paquetes de soluciones constructivas correspondía al 5, 10 y 15% del valor de la vivienda y fueron simuladas para obtener la combinación

energética más eficiente para lograr una disminución de la transmitancia térmica de la envolvente. El proceso de estudio del diseño de rehabilitación energética contemplo información de las principales dimensiones del edificio, así como información sobre el entorno inmediato, la orientación solar, tamaño y tipo de vanos, materiales de construcción utilizados en la envolvente y su espesor, el pavimento o de sus condiciones de techumbre. Posteriormente, y basado en la eficiencia de la inversión inicial y el potencial mejoramiento térmico, se seleccionó una de las combinaciones (Tabla 1) de mejoramientos para su aplicación.

Tipo de Vivienda	Descripción	Costo(US\$/m <sup>2</sup> )
Vivienda Unifamiliar Pareada en 2 niveles	Instalar aislación EIFS exterior de muros 1er nivel de la vivienda	46
	Instalar aislación EIFS exterior de muros 2do nivel de la vivienda	55
	Reemplazo de ventanas aluminio de vidrio simple por ventanas PVC doble vidrio hermético	161

Tabla 1: Mejoramientos aplicados a la envolvente de vivienda Dichato

Este mejoramiento se aplicó durante la primavera de 2013, para posteriormente realizar monitoreos de la vivienda en distintos momentos del año. La implementación de las soluciones constructivas permitió estudiar los costos estimados previamente. El costo final alcanzó USD\$2.920, resultando una disminución del 7,4% respecto al presupuesto original, principalmente dado por la reutilización de materiales originales. Además, durante el proceso se realizaron entrevistas a los ocupantes de la vivienda, previo y posterior a la aplicación de los mejoramientos. Se realizó el seguimiento durante 2013 y 2014 de los consumos de electricidad y gas licuado para identificar los requerimientos de energía para calefacción. Se estableció como tipo combustible para calefacción el gas con 5 meses de uso en horario de 18:00 a 22:00 hrs. La familia no consideraba estrategias de enfriamiento, más allá de elevar la ventilación con abertura de ventanas en verano. Lo obtenido durante el periodo de estudio, de acuerdo a las monitorizaciones se resume a continuación (Tabla 2).

	Vivienda Original	Vivienda con Mejoramientos
Temperatura del Aire Interior	Sin mejoramientos el promedio de la variación de temperatura, respecto a la temperatura exterior alcanza el 0,8°C	Con mejoramiento la gradiente de temperatura aumenta a 5 °C, producto de la reducción de la transmitancia térmica en los muros y ventanas.
Temperatura Superficial de Muros	Se registró una variación de temperaturas en muros de $\pm 5$ °C en primer piso y $\pm 3$ °C en segundo piso.	La variación aumenta, en primer piso $\pm 9$ °C y en segundo $\pm 6$ °C originado en distintos sistemas constructivos por nivel y al aumento de la resistencia térmica de los muros.
CO <sub>2</sub>	Se midió un 8,6 % del tiempo que permanece este indicador sobre 1.000 ppm.	Se observó una disminución al 4,8%, lo que estima corresponde a la disminución de la infiltración.
Infiltración de Aire	Se aplicó el ensayo Blower-door, para presurización en método A, lo que arrojó 11,7 l/h renovaciones de aire hora a 50Pa.	Existió una disminución a 9,79 l/h renovaciones de aire hora, dada la permeabilidad que entregaba el entramado de madera, syding y placa en el segundo piso.

Tabla 2: Variación de indicadores de confort térmico en la vivienda

A continuación, se compararon distintos análisis de costo de ciclo de vida (en Inglés LLCA), elaborados a partir de simulaciones respecto a datos obtenidos de las monitorizaciones en una primera etapa. Luego, para la alternativa del mejoramiento aplicado, el proceso constructivo y desempeño en el tercer año. La metodología planteada corresponde a la norma ASTM E917 [14] y para ello se establecieron una

serie de supuestos, sobre los cuales se rige el análisis. Se consideró además, aumento de la tasación del bien inmueble, ahorros por condiciones de bienestar y salud estimados a partir de datos comparativos de percepción del usuario, entre el caso de estudio y una frecuencia de enfermedades respiratorias promedio de otras 10 viviendas similares en el mismo conjunto habitacional. El LCCA para los diversos sistemas está calculado considerando tanto el consumo real en calefacción como la demanda anual simulada. Los supuestos económicos para el estudio (Tabla 3), se obtuvieron de referencias históricas del sector construcción en Chile y recopilación de antecedentes de contratistas que se desempeñan en la actividad de mejoramiento de viviendas.

Tasa de Descuento	8%
Ciclo de vida de estudio	20 años
Escalanamiento de Combustibles	Gas Licuado: 13%; Electricidad:5%
Inflación	No se considera
Aumento de Tasación del Inmueble	11%
Utilidades/Gastos Generales del contratista	20% / 8%

Tabla 3. Supuestos evaluación económica

El análisis de costos de ciclo de vida es una evaluación económica de un ítem, un sistema constructivo, equipo o instalación durante su horizonte de vida útil respecto a una referencia, considerando líneas base idénticas. En este caso, la función de la edificación es residencial y se entiende como caso base el estado original de la vivienda al momento del diagnóstico y los paquetes de mejoramiento, como una combinación de soluciones que permitan la eficiencia energética en los sistemas de acondicionamiento térmico en la construcción (Tabla 4). De esta forma, se compararon los paquetes descritos y bajo metodología de valor presente, con supuestos establecidos y simulaciones se obtuvo lo siguiente análisis.

Título del proyecto		Soluciones de mejoramiento para envoltente térmica		CONFIGURACIÓN ACTUAL		PAQUETE A		PAQUETE B		PAQUETE C		
Tasa de descuento		8%		Descripción: Condición actual de la vivienda		Descripción: Sellado de puertas e instalación EIFS 2do nivel		Descripción: Sellado de puertas, sellado ventanas, sellado instalaciones, sistema EIFS primer nivel y aislación cielo		Descripción: Sistema EIFS primer y segundo nivel + cambio de ventanas DVH		
Ciclo de vida (años)		20										
Moneda		Dolares USD\$		Costo estimado	Valor presente	Costo estimado	Valor presente	Costo estimado	Valor presente	Costo estimado	Valor presente	
Costos Iniciales	Costos iniciales											
	Sellado de Puertas					\$ 41	\$ 41	\$ 41	\$ 41			
	Sellado de Ventanas							\$ 126	\$ 126			
	Sellado de Instalaciones							\$ 132	\$ 132			
	Sellado de muros							\$ 213				
	Instalación EIFS 1er nivel							\$ 898	\$ 898	\$ 898	\$ 898	
	Instalación EIFS 2do nivel					\$ 1,137	\$ 1,137			\$ 1,137	\$ 1,137	
	Ventanas DVH									\$ 1,046	\$ 1,046	
	Aislación de Cubierta							\$ 620	\$ 620			
	Valor residual ventanas existentes									\$ 81	\$ 81	
TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES						\$ 1,178	\$ 1,178	\$ 2,030	\$ 1,817	\$ 3,162	\$ 3,162	
DIFERENCIA COSTOS R/CONFIGURACION ACTUAL												
Reemplazo / Vida residual	Reemplazo / Vida residual	año	Factor valor presente									
	Cambio Sello de Puertas (lateral+superio+in	5	0.68			\$ 49	\$ 33	\$ 49	\$ 33			
	Cambio burletes y sellos ventanas	5	0.68	\$ 110	\$ 75	\$ 110	\$ 75	\$ 110	\$ 75			
	Reposición pintura existente	5	0.68	\$ 360	\$ 245	\$ 191	\$ 130	\$ 191	\$ 130			
	Cambio Sello de Puertas (lateral+superio+in	10	0.46			\$ 49	\$ 23	\$ 49	\$ 23			
	Cambio burletes y sellos ventanas	10	0.46	\$ 110	\$ 51	\$ 110	\$ 51	\$ 110	\$ 51	\$ 110	\$ 51	
	Cambio Sello Instalaciones	10	0.46					\$ 100	\$ 46			
	Reposición pintura existente	10	0.46	\$ 360	\$ 167	\$ 191	\$ 88	\$ 191	\$ 88			
	Reposición pintura EIFS	10	0.46			\$ 361	\$ 167	\$ 361	\$ 167	\$ 769	\$ 356	
	Cambio Sello de Puertas (lateral+superio+in	15	0.32			\$ 49	\$ 15	\$ 49	\$ 15			
	Cambio burletes y sellos ventanas	15	0.32			\$ 110	\$ 35	\$ 110	\$ 35			
	Reposición pintura existente	15	0.32	\$ 360	\$ 113	\$ 191	\$ 60	\$ 191	\$ 60			
	Valor residual ventanas 7% costo inicial	20	0.21		\$ -					\$ 81	\$ 17	
	TOTAL COSTOS REEMPLAZO / VIDA RESIDUAL				\$ 1,300	\$ 651	\$ 1,411	\$ 678	\$ 1,511	\$ 724	\$ 960	\$ 425
DIFERENCIA COSTOS R/CONFIGURACION ACTUAL						\$ 111		\$ 211		-\$ 340		
Costos Anuales	Costos Anuales		Tasa Escalonamie	Factor VP/escalonamiento								
	calefacción gas licuado	13%	33.27	554.0	18433.3	396.0	13176.1	300.0	9981.9	201.0	6687.9	
	Enfermedades respiratorias /recuperación	2%	11.58	140.0	1621.2	132.0	1528.6	125.0	1447.5	89.0	1030.6	
	TOTAL COSTOS ANUALES				\$ 694	\$ 20,054	\$ 528	\$ 14,705	\$ 425	\$ 11,429	\$ 290	\$ 7,719
	DIFERENCIA COSTOS R/CONFIGURACION ACTUAL						\$ 166	\$ 5,350	\$ 269	\$ 8,625	\$ 404	\$ 12,336
Costos Ciclos de Vida	Costos Ciclo de Vida (CCV)					\$ 20,706		\$ 16,561		\$ 13,971		\$ 11,305
	Diferencia CCV r/CONFIGURACION ACTUAL											
	Variación CCV r/CONFIGURACION ACTUAL											
Análisis de Inversión	Tasación Vivienda					\$ 20,163		\$ 21,061		\$ 21,165		\$ 23,009
	Costos de Mejoramiento / Tasación Actual							5.8%		9.0%		15.7%
	Variación de Tasación							4.5%		5.0%		14.1%

Tabla 4. Evaluación económica de costos de ciclo de vida para la rehabilitación energética

#### 4. Análisis de datos obtenidos

Se obtuvieron datos sobre temperaturas ambientales, presión, velocidad y dirección de viento de la localidad, con tales valores se realizó una simulación para conocer el comportamiento del sistema tanto a nivel inicial como con la incorporación de los mejoramientos, con la finalidad de estudiar la proyección energética y económica de estos. Se observó, durante el estudio de los casos iniciales, que los profesionales que llevan simulaciones sobre la implementación de mejoramientos consideran parámetros dados por defecto, datos científicos de referencia o criterios basados en experiencia. Sin embargo, para reducir la demanda es necesario realizar un escalamiento de análisis lógico, estudiando separadamente cada solución, luego cada paquete de soluciones y finalmente con el total de ellas. De lo contrario, se producen distorsiones respecto a la efectividad y jerarquía de cada solución.

La factibilidad técnica de las soluciones que involucre el mejoramiento, debe considerar una evaluación del mercado. Esto quiere decir, que se conozcan los proveedores, sus productos, el particular de las especificaciones y el proceso constructivo. No es fácil, establecer anticipadamente las debilidades que puede presentar cada solución durante su ejecución y desempeño, pero es conveniente elaborar pruebas o prototipos que entreguen claridad respecto de las técnicas, sustratos de aplicación, condiciones climatológicas, escalas de producción, reutilización de materiales y medidas de mantención. Esto se hace relevante en el momento del estudio económico, ya que hace variar los costos de cada solución constructiva o paquete de ellas. Por otra parte, el rol de los contratistas y los agentes



gubernamentales de control de estándares de calidad deben demostrar un grado de competencia técnico, planificación de las actividades y de conocimiento de las normativas pertinentes. Actualmente, las propuestas de mejoramiento en la zona son apoyadas por los subsidios de mejoramiento térmico por el Servicio de Vivienda (SERVIU). Las ideas estudiadas para rehabilitar energéticamente la vivienda, abarcan propuestas de mejoramiento de la envolvente con aislación exterior en viviendas pareadas e individuales. Las inversiones se adecuan a montos de USD3.950 a USD8.000 y al cumplimiento de norma para mejoramientos de envolvente perimetral, ventanas, techos, cielos y pisos. La acción en muros incluye los sistemas de cobertura exterior que compiten en el mercado. Las soluciones propuestas, en la zona centro-sur de Chile, se enfocan en debilidades de diseño previo a la Reglamentación Térmica [5] debido a una falta de atención en las especificaciones técnicas. Por ejemplo, en la aislación de cielo raso y su relación con la altura de la techumbre y el sistema de ventilación de su cámara de aire, donde se generan puentes térmicos.

En otro sentido, la consideración de los ocupantes o usuarios en la evaluación de las mejoras tiene un valor relevante, ya que el propósito de los mejoramientos es acrecentar los estándares de la vivienda y la calidad de vida de sus habitantes. Al analizar las encuestas aplicadas al caso de estudio, se pudo evidenciar que existe un cambio de parámetros ambientales al interior de la vivienda que son percibidos de forma positiva por los usuarios.

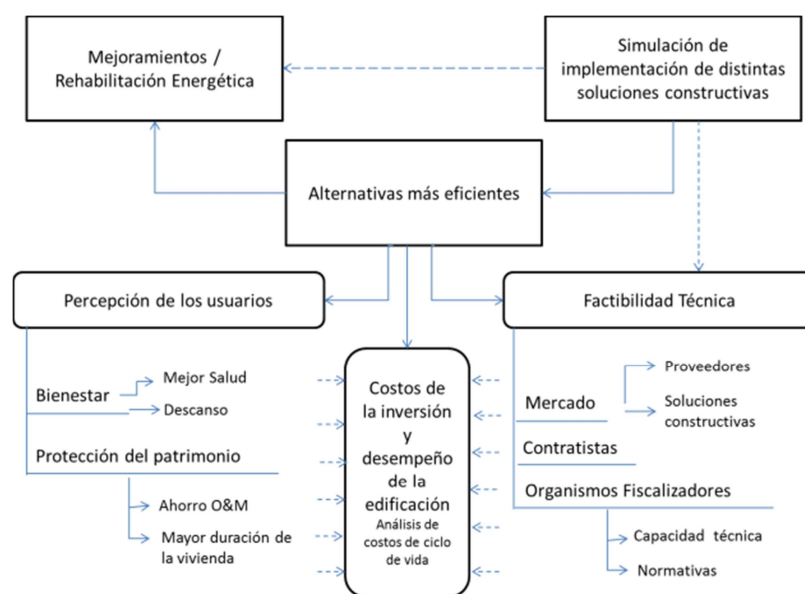


Fig.2 Metodología de estudio eficiente de mejoramiento de viviendas. Fuente: autor

Esta propuesta que se obtiene (Fig.2), además, se enfoca en aprovechar el poder de mejorar la información sobre el uso de energía en las viviendas, hábitos y percepción de los usuarios para elaborar bases de análisis más efectivas en el tiempo. Por ejemplo, se entrevistaron grupos familiares que actualmente están desarrollando un programa de mejoramiento térmico en 158 viviendas de la comuna de Chiguayante y se revisaron antecedentes de análisis gubernamentales anteriores [15] en el país. Se pudo observar, que existen instancias públicas de seguimiento a la percepción de los usuarios, análisis de resultados de los programas de mejoramiento, pero los beneficios indirectos o menores costos no son registrados respecto a los ahorros de energía. Mejores condiciones de calidad de vida, como lo es, la aislación acústica, la disminución de la humedad interior, disminución de costos de salud y el bienestar psicológico son aspectos que se traducen en

beneficios para los habitantes de las viviendas. En el caso de estudio, se rescataron opiniones similares, pero requiere de un seguimiento prolongado en el tiempo para obtener criterios concluyentes respecto a hábitos de la familia y los beneficios resultantes por la rehabilitación energética.

## 5. Conclusiones

El proceso de mejoramiento de las viviendas se encuentra en evolución, desde la perspectiva de desarrollo del estatus en que se encuentra, y afectado por la dinámica de industria de la construcción.

Los subsidios para mejoramiento de viviendas en Chile, que propician la rehabilitación energética, son una medida efectiva que colabora en proteger el patrimonio familiar y permite disminuir los consumos de energía en las viviendas del país. Desde la perspectiva del financiamiento, existe la oportunidad de elaborar estrategias de crédito a tasas menores que la banca tradicional, para impulsar una profundización del mejoramiento en viviendas de clase media.

Los paquetes de mejoras, para la rehabilitación energética, pueden incluir alteraciones de diseño o sistemas mecánicos, la optimización de estos requiere de la participación de profesionales de la construcción calificados y de los ocupantes de la edificación. Además, esta podría ser más estructurada en el proceso de evaluación de la aplicación de los paquetes como se mostró en la Fig.2. La metodología puede ser utilizada en los programas de rehabilitación o de construcción a gran escala, particularmente en los programas de mejoramiento de los gobiernos latinoamericanos, que presentan similitudes en este tema.

La metodología propuesta conecta el conocimiento de las simulaciones arquitectónicas y las tecnologías de eficiencia energética para financiar una búsqueda de fuerte de retornos efectivos a la inversión en mejoramientos en la vivienda. La inversión en mejoramientos no se paga solamente con los ahorros en energía, sino depende de factores varios factores importantes, tales como la tasa de descuento, el plazo de análisis y escalamiento de combustibles como los más importantes. También, se deben considerar costos indirectos durante el ciclo de vida de la vivienda que se producen debido a la misma rehabilitación energética, relacionado a aspectos de salud de los habitantes y tasación del inmueble, entre otros.

## AGRADECIMIENTOS

FONDECYT Regular 1120165 - Evaluación de Modelos de Simulación Ambiental de Viviendas de la zona Centro-Sur de Chile - Universidad del Bío-Bío. 2012-2015

## REFERENCIAS

- [1] Cámara Chilena de la Construcción (Diciembre, 2014) *Informe MACH N°41, Macroeconomía y Construcción*. Extraído de <http://www.cchc.cl/publicacion/informe-mach-41/>
- [2] Instituto Nacional de Estadística de Chile (2002) *XVII Censo Nacional de Población y VI de Vivienda. Volumen II: Personas, Viviendas y Hogares*. Extraído de [http://www.inec.cl/canales/usuarios/cedoc\\_online/censos/pdf/centso\\_2002\\_volumen\\_II.pdf](http://www.inec.cl/canales/usuarios/cedoc_online/censos/pdf/centso_2002_volumen_II.pdf)
- [3] Corporación de Desarrollo Tecnológico(CDT) - Cámara Chilena de la Construcción. (2010). *Estudio de Usos Finales y Curva de Oferta de Conservación de la Energía en el Sector Residencial de Chile*. Extraído de [http://antiguo.minenergia.cl/minwww/export/sites/default/05\\_Public\\_Estudios/descargas/estudios/Usos\\_Finales\\_COC\\_Sector\\_Residencial\\_2010.pdf](http://antiguo.minenergia.cl/minwww/export/sites/default/05_Public_Estudios/descargas/estudios/Usos_Finales_COC_Sector_Residencial_2010.pdf)

- [4] IPSOS (2012) *Resultados Estudio Sistema de Aseguramiento de Calidad*.
- [5] Ministerio de Vivienda y Urbanismo (Noviembre, 2006) Manual de Aplicación Reglamentación Térmica. Extraído de [http://www.minvu.cl/opensite\\_20070417155724.aspx](http://www.minvu.cl/opensite_20070417155724.aspx)
- [6] MINVU. (2006). *Decreto Supremo 255 Reglamenta Programa de protección del Patrimonio Familiar*. Extraído de [http://www.minvu.cl/aopensite\\_20061113165715.aspx](http://www.minvu.cl/aopensite_20061113165715.aspx)
- [7] Ministerio de Desarrollo Social (2013) Informe Política Social IPOS 2013. Extraído de [http://www.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/ipos-2013/media/IPOS\\_2013.pdf](http://www.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/ipos-2013/media/IPOS_2013.pdf)
- [8] Cámara Chilena de la Construcción (Junio, 2014) *Balance de la Vivienda*. Extraído de <http://www.cchc.cl/publicacion/balance-de-la-vivienda-en-chile-2014/>
- [9] Instituto de la Construcción (2008) *Determinación de la Línea Base del Confort Higrotérmico en el Sector Residencial* citado por Chappel, P. en *Confort Térmico en las Viviendas*, Revista BIT N°61, Julio 2008.
- [10] Fundación CENMA (2011) Evaluación de impacto atmosférico de sistemas de calefacción domiciliaria. Extraído de <http://www.glpchile.cl/>
- [11] Johansson, R. (2003). Case Study Methodology. "Methodologies in Housing Research". Estocolmo, Suecia. Extraído de [http://www.psyking.net/htmlobj-3839/case\\_study\\_methodology-\\_rolf\\_johansson\\_ver\\_2.pdf](http://www.psyking.net/htmlobj-3839/case_study_methodology-_rolf_johansson_ver_2.pdf)
- [12] Asociación Investigadores de Mercado (2012) *Grupos Socioeconómicos. Actualización 2012*. Extraído en <http://www.aimchile.cl/informe-gse-2012/>
- [13] Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2014). Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico. Extraído de [http://www.minvu.cl/opensite\\_20070611111640.aspx](http://www.minvu.cl/opensite_20070611111640.aspx)
- [14] American Society for Testing and Materials (2013). *E917-05 Standard Practice for Measuring Life-Cycle Costs of Buildings and Building Systems*. Revisión 2013.
- [15] Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2014). Extraído de <http://www.minenergia.cl/documentos/estudios/2011/evaluacion-independiente-del-programa.html>